



TITLE:

労働環境中粒子状物質の挙動とリスク評価に関する研究(
Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

加藤, 伸之

CITATION:

加藤, 伸之. 労働環境中粒子状物質の挙動とリスク評価に関する研究. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20351>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-03-23に公開

京都大学	博士（工 学）	氏名	加藤 伸之
論文題目	労働環境中粒子状物質の挙動とリスク評価に関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、労働環境中の粒子状物質について形状を考慮した物質移流拡散モデルの構築と、特に複合材料から放出される Carbon Nano Tube (CNT) の同定法とばく露評価、および火葬炉における粒子状物質のばく露評価を行ったものであって、6 章からなっている。</p> <p>1 章では現在の労働環境における粒子状物質のばく露基準値や測定方法、ばく露評価の方法および健康影響について知見の整理を行った。</p> <p>2 章では粒子状物質の形状を考慮した物質移流拡散モデルおよびナノ粒子の呼吸器系への沈着モデルの構築を行った。呼吸器系への沈着については、ICRP Publication 66 のモデルを用いて計算を行い、形状の変化によるナノからマイクロサイズまでの粒子の呼吸器系への沈着率を計算した。その結果、形状が変化すると、呼吸器系での粒子の沈着部位に影響をおよぼし、球形に比べて、呼吸器系のより前の部位に沈着しやすいという結果を得た。</p> <p>3 章では、作業環境を想定したスケールのチャンバーを構築し、チャンバー内のバックグラウンド値を低減した上で、マイクロサイズの粒子を発生させ、レーザーによる粒子の散乱光をハイスピードカメラで追跡し、その動画解析を行うことで、チャンバー内での粒子の挙動を把握した。そして、2 章で構築した物質移流拡散モデルを用いて、同条件で計算を行い、実測した粒子の挙動と比較することでモデルの検証を行った。また、ナノ粒子に関しては、スクロースによる標準粒子を発生させ、チャンバー内のゆるやかな移流場において凝集が起こらない粒子間隔が維持される濃度範囲で、粒子の濃度を計測し、モデルによる計算結果と比較した。その結果、実測された各粒子の挙動は、計算結果と良い一致を示したことから、構築したモデルは、作業現場における粒子状物質の挙動評価への応用が期待できると考えられた。</p> <p>4 章では、ナノマテリアルとしての CNT を含有する生産工場内で、ブラックカーボン、粒子状物質の粒径別個数濃度、粉じん計による質量濃度の計測を行い、作業現場の状況で、複合材料表面から放出される粒子状物質に対し、CNT の同定が可能か検証した。その結果、CNT に含有する不純物に着目し、それをマーカーとして利用することで CNT の種類次第では同定、定量が可能であるという結果を得た。つぎに、2 章で開発した形状を考慮した物質移流拡散モデルを用いて、その CNT が単離して浮遊している可能性を検討した。その結果、電子顕微鏡による形態観察や、計算結果との相関から判断して、単離して浮遊している可能性は低いことを示した。</p> <p>5 章では、労働衛生の実態報告の少ない火葬炉において複数カ所で調査を行い、粒子状物質のばく露評価を行った。これまでは、粉じんとして、鼻腔や気管支までを想定</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	加藤 伸之
<p>したばく露評価が行われているが、個数で見ると最も放出量が多いと考えられるナノ粒子の場合は肺胞領域までの到達を考慮する必要がある。このため、火葬炉において、どの作業によって最も肺胞領域まで到達するナノ粒子の寄与度が高いのかの検証を行った。加えて、火葬炉では、六価クロムが溶出するという報告があり、粒径別に捕集したサンプルより、六価クロムの影響を評価した。その結果、従来の粉じん則にもとづく評価では、問題がないという管理区分であった場合でも、肺胞に到達するナノ粒子の寄与度が高い場合があるという結果を得た。またこれらの調査地に対しリスク評価を行い、発がんに関しては、10^{-5}のリスクレベルを超える可能性がないとは言い切れないという結果を得た。これまではエンドポイントとしての肺がんのユニットリスクを算出する際には、疫学的に発がんした際の状況を推算することが行われてきたが、本モデルを用いることで、粒子の粒径分布に基づく鼻腔域と気管支以降の肺領域の沈着濃度が計算できるため、今後より詳細に肺に沈着する粒子の影響をリスクアセスメントに反映させることができると期待できる。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題を示している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、労働環境中におけるナノ粒子ばく露の実態調査手法とそのリスク評価方法について検討したものである。得られた主な成果は以下のとおりである。

1) 粒子状物質の形状を考慮した物質移流拡散モデルおよびナノ粒子の呼吸器系への沈着モデルの構築を行った。呼吸器系への沈着については、ICRP Publication 66 のモデルを用いて計算を行い、形状の変化によるナノからマイクロサイズまでの粒子の呼吸器系への沈着率の変化を解析した。その結果、小さい粒径では、肺胞まで到達する率が下がり、気管支や鼻腔にトラップされるが、粒子のアスペクト比が高くなると、逆に肺胞に到達する比率が若干高くなり、気管支にトラップされる比率が低くなることなどを示した。

2) 作業環境を想定したスケールのチャンバーを構築し、ナノサイズおよびマイクロサイズの粒子を発生させモニタリングを行うことで、物質移流拡散モデルの検証を行った。その結果、本研究で構築した数理モデルにより作業現場における粒子の挙動シミュレーションが可能であることを示した。

3) カーボンナノチューブ (CNT) を含有する製品を生産する工場内でブラックカーボン、粒子状物質の粒径別個数濃度、粉じん計による質量濃度の計測を行い、CNTに含まれる不純物をマーカーとして利用することで、CNTの種類次第では同定、定量が可能であることを示した。つぎに、その CNT が単離して浮遊している可能性を本研究で構築した物質移流拡散モデルや電子顕微鏡による形態観察を用いて検討し、単離の可能性は低いことを示した。

4) 労働衛生の実態報告の少ない火葬炉において複数ヶ所で調査を行い、粒子状物質のばく露評価を行った。その結果、火葬炉の稼働中に発生する 1 次粒子によるばく露量を粒子数で評価した場合、ナノ粒子の寄与により、呼吸器系で沈着量が最大となるのは肺胞であるという結果を得た。よって、熱により発生する粒子状物質に対し、ナノ粒子の存在を考慮することで、従来の重量濃度の計測では捉えきれない、新たなリスクが存在する可能性を示した。

以上の結果は、労働環境における粒子状物質の挙動の実測および数値シミュレーションが十分な精度で可能であることを示すものであり、近年、健康影響が懸念されている粒子状物質のリスク評価手法確立に大きく貢献するものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 29 年 1 月 25 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

。